

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-201168

(43)公開日 平成11年(1999) 7月27日

(51)Int.Cl. <sup>4</sup>	識別記号	F I
F 1 6 C 33/32		F 1 6 C 33/32
C 2 2 C 38/00	3 0 1	C 2 2 C 38/00 3 0 1 Z
38/28		38/28
C 2 3 C 8/22		C 2 3 C 8/22
8/32		8/32

審査請求 未請求 請求項の数1 O L (全 9 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平10-4069

(22)出願日 平成10年(1998) 1月12日

(71)出願人 000004204

日本精工株式会社  
東京都品川区大崎1丁目6番3号

(72)発明者 武村 浩道

神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目5番50号  
日本精工株式会社内

(74)代理人 弁理士 森 哲也 (外2名)

(54)【発明の名称】 転がり軸受

(57)【要約】

【課題】異物混入で圧痕が生じにくく、耐摩耗特性に優れ、水侵入の条件においても腐食ピツチングを起こしにくい転がり軸受を提供する。

【解決手段】転がり軸受の構成部材である内輪、外輪および転動体のうちの少なくとも一つの部材を、下記の合金組成を有する軸受用鋼素材を用いて形成し、当該部材に浸炭処理または浸炭窒化处理を施して部材表面及び内部に平均粒径80nm以下のTi炭化物またはTi炭窒化物を分散させた。ここに、軸受用鋼素材の合金組成(重量%)は、C;0.15~0.45%, Si;0.1~1.2%, Mn;0.2~1.5%, Cr;0.2~1.6%, Ti;0.05~0.40%である。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 転がり軸受の構成部材である内輪、外輪および転動体のうちの少なくとも一つの部材を、下記の合金組成を有する軸受用鋼素材を用いて形成し、当該部材に浸炭処理または浸炭窒化処理を施して部材表面及び内部に平均粒径80nm以下のTi炭化物またはTi炭窒化物を分散させてあることを特徴とする転がり軸受。軸受用鋼素材の合金組成（重量％）：C：0.15～0.45％，Si：0.1～1.2％，Mn：0.2～1.5％，Cr：0.2～1.6％，Ti：0.05～0.40％

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、転がり軸受に係り、特に、自動車、農業機械、建設機械および鉄鋼機械等のトランスミッション、エンジン用等を使用される転がり軸受の寿命向上および連綿用ガイドロール軸受、圧延機用ロールネック軸受や直動案内ガイド、ボールネジなどの耐摩耗特性向上に関する。

【0002】

【従来の技術】一般に、転がり軸受は、軸受潤滑油中に異物が混入すると、異物のないクリーン潤滑の場合より転がり寿命が著しく低下する。これは、潤滑油中の異物としては、金属の切粉、削り屑、バリおよび摩耗粉や泥水などがあり、このような異物が混入した状態で潤滑が行われると、当該異物により転がり軸受の内輪、外輪の軌道面や転動体の転動面に圧痕やピット（損傷）を生じ、これを起点としてフレーキングが発生して転がり軸受の寿命を著しく低下させるからである。

【0003】この現象についての実験的研究として、「異物混入条件と転がり疲れ寿命」（NSKテクニカルジャーナルNo. 855, p17～24, 1993年）に、異物の量、異物の硬さ、異物の大きさにより、クリーン潤滑下の寿命の約1/8まで低下することが示されている。そして、自動車の変速機用歯車などにみられるピッチングのように、異物の侵入および転がり疲れの影響により、軸受の軌道面又は転動面に深さ数十から百μm以上に及ぶ微小圧痕を生じ、この圧痕を起点としてフレーキングへ進展し、転がり疲れを低下させている現象が再現されている。

【0004】こうした現象に基づき転がり寿命の低下を低減させる従来の技術としては、例えば特公平7-110988号公報に、転がり軸受の内輪、外輪及び転動体の少なくとも一つの表面層部に適量の微細炭化物を形成して表面硬さを向上すると共に、表面層部に適量の残留オーステナイトを存在させて異物が混入した潤滑下でのマイクロクラックの発生を防止する技術が開示されている。

【0005】また、特開平9-53169号公報には、表面硬度を要求される駆動軸継手用浸炭焼入れ部品に使

用する肌焼用鋼材の合金組成（重量％、以下同じ）として、Cを0.1～0.25％，Siを0.2～0.4％，Mnを0.3～0.9％，Crを0.5～0.9％含有し、さらにNi：0.3～4.0％，Ti：0.01～0.3％，Nb：0.01～0.3％，V：0.01～0.3％，Zr：0.01～0.3％の各成分元素の少なくとも1種以上を含み、かつ表面硬度をHv650～800としたものが開示されている。

【0006】更に、神戸製鋼技報/Vol. 47 No. 2 (Sep. 1997) p50～53には、「高強度懸架ばね用鋼の腐食疲労特性とその改善」として、JIS SUP7相当のばね鋼（C：0.42％，Si：1.69％，Mn：0.18％）にCu：0.20％，Ni：0.33％，Cr：1.06％，V：0.15％，Ti：0.05％の元素を添加して、成分調整による腐食ピット低減の観点より腐食疲労特性の改善を試みるとともに、水素脆化感受性を考慮した材料が報告されている。

【0007】

20 【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記特公平7-110988号公報に開示された転がり軸受にあっては、C：0.3～0.6重量％，Cr：3～14重量％を少なくとも含む合金鋼からなっており、表層部における微細炭化物量を20～50vol％とし、且つ当該表層部における残留オーステナイト量が10～25vol％であるとしているため、表面硬さが向上し耐圧痕性がよくなるという利点はあるものの、微細炭化物の平均粒径が0.5～1.0μmと大きく、そのため耐摩耗特性に関してはなお改善の余地がある。

30 【0008】また、上記特開平9-53169号公報に開示の肌焼鋼に関しては、単純にTiやVなどの合金元素を添加して材料自体の耐衝撃性や高靱性を高めているが、その添加元素の組み合わせでは微細な炭化物の生成が期待できず、また当該組成の肌焼鋼を転がり軸受の構成部材用素材に適用しても、異物が軌道面に侵入した場合は圧痕が軌道面に生じやすくなり、早期剥離を十分に防止することは困難でその点に改善の余地が認められる。

40 【0009】更に、上記神戸製鋼技報に報告された高強度ばね鋼に関しては、Cu, Ni, Cr, V, Tiなどの高価な元素を添加することにより、腐食疲労起点となる腐食ピットの低減を狙い、かつ結晶粒を微細化させることにより靱性を高めるといった効果を有する。しかし、一般的な850℃油焼入れ、450℃焼戻しにて用いられるこれらのばね鋼には、転がり軸受特性に必要な耐圧痕性や耐摩耗性を十分満たすほどの表面硬さが期待できない。

【0010】他方、転がり軸受に水が混入した場合の寿命低下の事例として、J. A. Ciruraらの「Wear, 24 (1973) 107～118, The Ef

-fect of Hydrogen on the Rolling Contact Fatigue Life of AISI 52100 and 440 C Steel Balls」によると、4球転がり試験において、潤滑油に水を混入させた試験では混入前と比較して寿命が約1/10に低下した例がある。また、水素チャージを行った鋼球での転がり疲労試験では、ステンレス鋼鋼球が軸受鋼2種鋼球より長寿命であるとの記載がある。しかしながら、長寿命化対策としてステンレス鋼鋼球を用いることは、軸受鋼2種鋼球使用と比較して高価であるため実用するのは難しい。

【0011】本発明は、このような従来技術における未解決の課題を解決するためになされたもので、その目的とするところは、次のような長寿命効果を有する転がり軸受を提供することにある。

【0012】①肌焼軸受鋼材料の組成と処理を改善して転がり軸受の部材表面および内部に平均粒径80nm以下のTi炭化物、Ti炭窒化物を微細に分散析出させることにより、特に異物混入潤滑下でも圧痕を生じにくくした。

【0013】②また、焼入れ時の結晶粒の粗大化を抑制することにより、耐摩耗特性を向上させた。

③更に、TiC、TiCNを微細に分散析出させることにより、水侵入による腐食ピッチング発生下の条件においても腐食ピッチング（水素誘起割れ含む）を起こしにくくした。

【0014】

【課題を解決するための手段】かかる目的を達成するために、本発明に係る転がり軸は、転がり軸受の構成部材である内輪、外輪および転動体のうちの少なくとも一つの部材を、下記の合金組成を有する軸受用鋼素材を用いて形成し、当該部材に浸炭処理または浸炭窒化処理を施して部材表面及び内部に平均粒径80nm以下のTi炭化物またはTi炭窒化物を分散させてあることを特徴とする。

【0015】ここに、軸受用鋼素材の合金組成（重量％）は、C：0.15～0.45％、Si：0.1～1.2％、Mn：0.2～1.5％、Cr：0.2～1.6％、Ti：0.05～0.40％である。

【0016】本発明に係る転がり軸受にあっては、鋼中に分散させた平均粒径80nm以下の微細なTi炭化物、Ti炭窒化物がマトリックスを強化するため、軸受の軌道面や転動面に圧痕を生じにくい。また、微細に分散した硬いTi炭化物、Ti炭窒化物により耐摩耗特性が向上する。また、靱性が高まっているためき裂が発生した際も当該き裂の伝播を遅くする。更に、水侵入潤滑下においても、Ti炭化物、Ti炭窒化物が水素トラップサイトとなりTi炭化物、Ti炭窒化物界面で水素を分散吸着して欠陥をつくりにくくし、且つき裂先端の塑性変形域の水素濃度を低下させるため、腐食ピッチング

（水素誘起割れ含む）を遅らせる。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を説明する。まず、本発明の転がり軸受の構成部品である内輪、外輪および転動体のうちの少なくとも一つの部材に用いる軸受用鋼素材の合金成分の臨界的意義について説明する。

【0018】〔C：0.15～0.45％（重量％、以下同じ）〕転がり軸受の軌道面や転動面における破損や剥離などに起因する転がり寿命の低下の原因と考えられる介在物を少なくし、量産材として安定した清浄度を得るため、且つまた耐転がり疲労に必要な硬さを得るために、浸炭または浸炭窒化処理が行われる。その処理時間短縮のために、C量は0.15％以上が必要となる。しかし、0.45％を超えて含有させると、軸受部材の中心部での割れ強度の低下や、高温時の寸法安定性に問題があるため、素材のC量を0.15～0.45％と規定する。

【0019】〔Si：0.1～1.2％〕Siは、組織変化を遅らせると共に焼入れ性を向上させる元素であるが、0.1％未満では脱酸効果が十分ではなく、一方1.2％を超えると加工性が著しく低下するため、Si量を0.1～1.2％とした。

【0020】〔Mn：0.2～1.5％〕Mnは、鋼の焼入れ性に効果のある元素であるが、0.2％未満では焼入れ性が不足し、一方1.5％を超えると加工性が低下するため、Mn量を0.2～1.5％とした。

【0021】〔Cr：0.2～1.6％〕Crは、焼入れ性を向上させ且つ炭化物球状化を促進させる元素であり、少なくとも0.2％以上を含有させる必要があるが、1.6％を超えて含有させると、炭化物が粗大化して平均結晶粒が大きくなり、また被削性を劣化させる場合があるので、Cr量を0.2～1.6％とした。

【0022】〔Ti：0.05～0.40％〕Tiは、鋼中にTi炭化物、Ti炭窒化物の形で微細分散して転がり寿命を向上させ、かつ耐摩耗性を向上させる元素であり、また焼入れ時の結晶粒の粗大化を抑制する元素であり、更には水素トラップサイトとしての作用もあるが、0.05％以下ではその多くは1μm以上のTi窒化物となりTi炭化物（TiC）、Ti炭窒化物（TiCN）効果がない。一方、0.40％を超えると加工性が低下し、且つTi炭化物、Ti炭窒化物のサイズが80nmを超えて大きくなる。また、転がり寿命を低下させる介在物（TiN、TiS）を生成しやすくなる。そのためTi含有量を0.05～0.40％とした。

【0023】〔N、P、S、O、Mo、Niの各成分元素〕これらの元素は必要に応じて選択的に含有させるものである。Nは、転がり寿命向上に、Ti炭化物、Ti炭窒化物の微細分散による分散強化効果が大きい。N量が増加するとTi窒化物が増加し、Ti炭化物、Ti

炭窒化物量が減少してしまう。そのため、素材に含有するN量の上限を0.01%とする。

【0024】Pは、転がり寿命及び靱性を低下させる元素であるため、その上限を0.02%とする。Sは、被削性を向上させる元素であるが、Mnと結合して転がり寿命を低下させる硫化系介在物を形成するため、その上限を0.02%とする。

【0025】Oは、鋼中において酸化物系の介在物を生成して転がり寿命を低下させる元素であるので、その上限を0.0016%とする。Moは、焼戻し軟化抵抗性や微細な炭化物の分散効果により軸受硬さを向上させる元素であるため、0.1%以上必要であるが、1.5%を超えてもその効果は飽和し、また逆に加工性が劣化する可能性もあることから、Mo量を0.1~1.5%とした。

【0026】Niは、マトリクスを強化して靱性を向上させ、これにより転がり寿命を向上させるという効果を有する。0.20%を超えて含有させると残留オーステナイト量を増加させ、耐圧痕性を向上させる元素である。しかしながら、Niは高価な元素であり、余分な添加は材料価格を無駄に上昇させるのみであり、適量を含むさせる。

【0027】本発明の転がり軸受にあつては、内輪、外輪および転動体のうちの少なくとも一つの部材を、上記成分組成を有する軸受用鋼を素材として形成する。そして、その素材においてTiをマトリクスに溶解させるため、1150~1350℃にて加熱し溶体化処理を施す。

【0028】その素材を用いて形成した転がり軸受の構成部材に対し、容体化処理、850~950℃にて焼な

らしをおこない球状化焼鈍をへて、80nm以下のTiC、TiCNを微細に分散析出させる。かくして、浸炭処理又は浸炭窒化处理、焼入れ、焼戻し処理、研磨仕上げした後の部材表面の炭素含有量及び表面窒素含有量を次の範囲に規制する。

【0029】〔表面C量；0.8~1.2%〕所定の熱処理を施し研磨仕上げした後の軸受部材の耐転がり疲れに十分な表面硬さを得るためには0.8%以上の表面炭素量が必要である。しかし、表面炭素量が1.2%を超えると巨大炭化物を生成しやすくなり、割れ起点になりやすいため、表面C含有量を0.8~1.2%とする。

【0030】〔表面N量；0.05~0.50%〕表面窒素量を規定した理由は、0.05%以上あると焼戻し抵抗性が向上し、微細な炭窒化物が分散析出する効果により強度が向上するためである。一方、0.50%を超えると、耐摩耗性が向上してその結果研磨加工が困難になりやすく、また脆性割れ強度も低下する。そのため、表面N含有量を0.05~0.50%とする。

【0031】上記の表面C量、表面N量は浸炭処理のみでも、浸炭窒化处理のみでも、あるいは浸炭と浸炭窒化处理とを併用する場合でも同様である。こうして、本発明の転がり軸受の軸受構成部材の表面硬さHv700以上を満足させると共に、平均粒径80nm以下のTi炭化物、Ti炭窒化物を部材表面ならびに内部に分散させる。

【0032】以下、本発明の転がり軸受について実施した寿命試験について説明する。この寿命試験に用いた転がり軸受の供試素材の化学成分を表1に示す。

【0033】

【表1】

	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	N	O (ppm)	Ti	表面 C%	表面 N%	TiC, TiCN (nm)	熱処理	備考
実 施 例	1	0.45	0.36	1.09	1.18	—	—	0.0030	15	0.050	0.85	—	80	浸炭
	2	0.20	0.32	1.19	1.59	0.59	2.91	0.0030	10	0.280	1.11	—	49	
	3	0.24	0.28	0.21	0.95	—	—	0.0055	9	0.150	0.95	—	69	
	4	0.20	0.25	0.74	1.00	0.10	—	0.0030	10	0.400	0.80	—	24	
	5	0.18	0.22	0.44	0.28	—	0.20	0.0030	8	0.080	0.97	—	12	
	6	0.42	0.15	0.58	1.60	0.30	—	0.0040	7	0.200	1.20	—	8	
	7	0.15	0.32	0.65	0.20	—	2.03	0.0030	5	0.110	1.07	—	24	
	8	0.33	0.18	1.38	0.98	1.50	—	0.0030	14	0.250	1.05	—	42	
	9	0.43	1.20	0.98	0.87	—	—	0.0025	8	0.150	0.82	—	60	
	10	0.18	0.17	0.67	0.98	0.28	—	0.0030	7	0.240	0.99	—	61	
	11	0.35	0.32	0.76	1.12	0.21	—	0.0030	13	0.210	0.88	0.08	80	浸炭窒化
	12	0.21	0.49	0.20	1.05	—	—	0.0100	10	0.090	1.05	0.12	63	
	13	0.29	0.10	0.38	0.87	—	—	0.0030	11	0.050	1.15	0.05	33	
	14	0.40	1.05	0.72	1.47	1.03	—	0.0030	16	0.400	1.20	0.50	45	
	15	0.33	0.85	0.35	1.22	—	0.37	0.0030	5	0.140	0.87	0.28	18	
	16	0.45	0.19	0.47	0.20	—	—	0.0030	7	0.230	0.85	0.41	25	
	17	0.41	0.39	0.52	1.50	1.00	—	0.0015	8	0.350	1.18	0.11	10	
	18	0.32	1.18	0.48	1.59	—	—	0.0030	4	0.070	0.80	0.18	7	
	19	0.24	0.32	1.50	1.36	—	—	0.0030	8	0.160	1.14	0.39	14	
	20	0.17	0.22	0.64	0.55	0.29	0.48	0.0010	11	0.290	1.06	0.10	50	
比 較 例	1	1.05	0.35	0.29	1.45	—	—	0.0055	14	—	—	—	0	ずぶ焼
	2	0.60	2.08	0.94	0.15	—	—	0.0030	16	—	—	—	0	SUJ2 ばね鋼
	3	0.43	1.70	0.18	1.08	0.33	—	0.0030	8	0.050	—	—	110	Ti溶体化処理なし
	4	0.15	0.33	0.57	0.60	0.45	—	0.0050	10	0.050	0.87	—	591	浸炭 Ti溶体化処理なし
	5	0.18	0.34	0.05	0.60	0.45	—	0.0015	10	0.050	0.80	—	348	Ti溶体化処理なし
	6	0.39	0.44	0.31	14.80	—	—	0.0030	8	0.005	1.77	—	578	
	7	0.05	0.02	0.57	0.88	0.54	—	0.0020	7	0.100	0.68	—	50	
	8	0.24	0.23	2.50	0.08	—	—	0.0010	9	0.080	0.95	—	789	Ti溶体化処理なし
	9	0.10	0.77	0.33	0.85	—	—	0.0030	15	0.310	1.15	—	587	
	10	0.43	0.25	0.70	0.85	1.20	—	0.0045	14	0.005	1.20	—	571	
	11	0.15	0.01	0.56	0.36	—	—	0.0030	12	0.050	0.68	0.02	75	浸炭窒化
	12	0.05	0.28	1.05	1.12	0.55	—	0.0080	7	0.150	0.72	0.05	54	
	13	0.41	1.89	0.35	0.89	1.03	—	0.0100	8	0.500	1.50	0.20	358	
	14	0.08	0.18	0.44	0.95	—	—	0.0028	14	0.025	0.82	0.15	270	
	15	0.43	0.25	0.70	0.72	1.20	—	0.0045	14	0.005	1.20	0.29	571	
	16	0.25	0.33	0.68	0.05	—	—	0.0035	8	0.100	1.00	0.10	51	
	17	0.32	0.49	0.58	0.65	—	—	0.0030	10	—	1.15	0.39	0	
	18	0.23	0.27	1.89	1.59	—	0.25	0.0030	7	0.010	0.99	0.05	180	

【0034】この供試材料において、Tiをマトリックスに溶け込ませるため、1150～1350℃にて加熱し溶体化処理を施した。その後、850～950℃にて焼ならしをおこない球状化焼鈍をへて、80nm以下のTiC、TiCNを微細に分散析出させた。なお、比較例の試料のうちの一部のものには、Tiの溶体化処理を施さなかった。

【0035】試験に際し、表1の供試素材を材料として、実施例および比較例の軸受内・外輪を冷間加工で製作し、次の2通りのパターンの熱処理を施した。

#### (1) 浸炭処理

図1(a)に示すように、温度が880～960℃の吸熱型ガス及びエンリッチガスの雰囲気中で、10～15時間熱処理（浸炭処理）した後、放冷し、次に吸熱型ガスの雰囲気中で840～860℃まで0.5～1時間加熱（ずぶ焼き）してからオイルクエンチ（焼入れ）を行う。次いで、これを温度が160～450℃の大気中で、2時間加熱した後、冷却する（焼戻し）。

#### 【0036】(2) 浸炭窒化処理

図1(b)に示すように、温度が880～960℃の吸熱型ガス及びエンリッチガスとアンモニアガスの雰囲気中で、5～10時間熱処理（浸炭窒化処理）した後、放冷し、次に吸熱型ガスの雰囲気中で840～860℃まで0.5～1時間加熱（ずぶ焼き）してからオイルクエンチ（焼入れ）を行う。次いで、これを温度が160～450℃の大気中で、2時間加熱した後、冷却する（焼戻し）。

【0037】なお、内輪・外輪の表面硬さはHv650

～900、表面残留オーステナイト量は1～45vol%、軌道表面粗さは0.01～0.03μmRaである。更に、本実施例、比較例共に、転動体は軸受鋼2種に通常熱処理を施し、転動体の表面硬さをHv=700～750、表面粗さは0.003～0.010μmRaとした。

【0038】これらの内輪、外輪、転動体からなる転がり軸受を被試験体として、下記三種類の寿命比較試験を行った。

（比較試験1）予め圧痕を有する軸受によるクリーン潤滑下での寿命試験である。

【0039】試験装置：試験機として、図2に示す「異物混入条件と転がり疲れ寿命」（NSKテクニカルジャーナルNo. 855, p17～24, 1993年）に示されている片もち型寿命試験装置を用いた。この試験装置は、被試験体軸受1（外輪2、内輪3、転動体4）を取り付ける回転軸5を備えている。この回転軸5に内輪3をはめ込み、外輪2は軸受1を収納するハウジング6に固定される。回転軸5を図外のモータで回転させると、内輪3が回転するとともにボール4が転動する。ハウジング6には負荷シャフト7を介して負荷レバー8が連結されている。その負荷レバー8を水平支軸8aまわりに揺動させると、負荷シャフト7を介してハウジング6に固定された外輪2に所定の荷重が負荷されるようになっていく。ハウジング6内には潤滑油供給回路9に連通する油吐出部10が導入され、潤滑油11が軸受1に向けて供給される。油吐出部10の供給回路9は油槽12に連通し、油槽12は潤滑油を収容している。油槽1

2には、補給回路13から潤滑油が毎時5ccの割合で補給されるようになっている。

【0040】なお、この補給回路13から、鉄粉や水などの異物を油槽12内の潤滑油11中に故意に添加混入するようにしてもよい。潤滑油供給回路9には下流側から順に、流量計14、ポンプ15、フィルタ16a、16bが設けられている。また、ハウジング6及び油吐出部10をチャンバ17により取り囲んであり、チャンバ17に落下した余剰の潤滑油が回収回路18を介して油槽12に回収されるようにしている。

【0041】試験方法：被試験体軸受1として深溝玉軸受(6206タイプ)を使用した。負荷レバー8に負荷する試験荷重 $F_r = 900 \text{ kgf}$ 、試験回転数は3900はrpm、潤滑油にはタービン油VG68を使用した。

【0042】まず、上記試験装置の油槽12内に、異物としてHv730の1%スチールビーズ(大きさ44~74 $\mu\text{m}$ )を0.005g混入して回転軸5を駆動させ、被試験体軸受1の内輪3に初期圧痕を形成した。そ\*

＊の後、軸受1を洗浄してから、その外輪2および転動体4のみを新品に交換し、圧痕の付いた内輪3と新品の外輪2、転動体4を組み合わせ、異物混入無しのクリーン潤滑条件下で耐久試験を各試料につき $n = 10$ 回づつ行った。試験終了の判定は、被試験体軸受1の初期振動値の5倍となった時点にて試験を中断し、フレーキングを確認した。この時の軸受の計算寿命は45時間であり、従って、試験打ち切り時間を計算寿命の約7倍の300時間とした。

10 【0043】表2に、比較試験1の寿命試験結果として、各実施例及び比較例毎の被試験体について、表面硬さ、表面残留オーステナイト量、 $L_{10}$ 寿命および剥離の形態を示した。鋼中のTi炭化物、Ti炭窒化物の平均粒径は表1に記載した。

【0044】また、図3に、この寿命試験におけるTiC、TiCNの平均粒径と評価時間( $L_{10}$ 寿命)との関係を図示した。

【0045】

【表2】

		表面の硬さ (Hv)	表面の $\gamma R$ vol(%)	$L_{10}$ (hr)	はくりの形態
実施例	1	723	19	204	9/10内輪はくり
	2	813	45	300→	はくり無し
	3	735	23	215	7/10内輪はくり
	4	763	26	285	5/10内輪はくり
	5	703	4	245	8/10内輪はくり
	6	821	38	300→	はくり無し
	7	768	45	295	4/10内輪はくり
	8	751	25	275	5/10内輪はくり
	9	716	11	228	7/10内輪はくり
	10	742	24	234	8/10内輪はくり
	11	738	8	211	9/10内輪はくり
	12	742	24	243	7/10内輪はくり
	13	759	31	278	6/10内輪はくり
	14	899	33	300→	はくり無し
	15	763	44	291	4/10内輪はくり
	16	774	23	268	5/10内輪はくり
	17	895	36	300→	はくり無し
	18	763	28	253	5/10内輪はくり
	19	755	1	269	5/10内輪はくり
	20	815	45	300→	はくり無し
比較例	1	735	8	22	10/10内輪はくり
	2	425	35	11	10/10内輪はくり
	3	410	31	12	10/10内輪はくり
	4	665	19	19	10/10内輪はくり
	5	713	25	74	10/10内輪はくり
	6	758	39	64	10/10内輪はくり
	7	650	13	88	10/10内輪はくり
	8	723	21	55	10/10内輪はくり
	9	712	3	26	10/10内輪はくり
	10	756	36	54	10/10内輪はくり
	11	670	31	91	10/10内輪はくり
	12	685	45	95	10/10内輪はくり
	13	805	17	68	10/10内輪はくり
	14	788	8	65	10/10内輪はくり
	15	823	28	88	10/10内輪はくり
	16	671	1	42	10/10内輪はくり
	17	753	30	59	10/10内輪はくり
	18	796	43	63	10/10内輪はくり

【0046】表1、表2の結果より、実施例1~20は、鋼中にTi炭化物、Ti炭窒化物が微細に分散し、その平均粒径が80nm以下、かつ、表面硬さがHv700以上である。また、軸受寿命 $L_{10}$ は、すべて計算寿

命より4倍以上の200時間以上となっており、比較例1~18と比べ長寿命であった。

【0047】特に、実施例2、6、14、17、20は鋼中のTi炭化物、Ti炭窒化物の平均粒径が50nm

以下で、且つ表面硬さがHv800~900であり、更に残留オーステナイト量(γR)が30~45VOL%となっており、これらの転がり軸受の軸受寿命 $L_{10}$ は、極めて長く300時間に至っても剥離を生じなかった。

【0048】これに対して比較例1~18の方は、すべての試料軸受の寿命 $L_{10}$ が100時間以下となっており、その剥離形態はすべて内輪剥離でその剥離部位は異物による圧痕起点であった。特に比較例1, 2, 17に関しては、Tiを添加していないために微細なTiCの析出が認められず短寿命であった。また、比較例3, 4, 5, 8に関しては、Tiの溶体化処理を行っていないため、平均粒径80nm以下のTiCの分散が認められず、長寿命とはならなかった。なお、比較例3は先に述べた神戸製鋼技報に示された成分組成と同等、また比較例4は特開平9-53169号に示された成分組成と同等であるが、いずれもTi溶体化処理されていないものである。比較例6, 15(特公平7-110988号に示されたものと同等)は、Tiの量が0.005%と少なく、一方Cr又は表面炭素量は多くてTiC粒子が粗大となり、数個の500nm以上のTiCの析出し認められず長寿命とはならなかった。比較例7は素材のC量, Si量とも少なく、表面C量が0.68%と低くなり焼入れ性不足であった。比較例9, 13に関しては、Ti添加量が0.5%以上と高いため微細なTiC, TiCNの析出が生じないこととなり、実施例1~20と比較して短寿命であった。比較例10については、Tiの量が0.005%と少ないのに表面炭素量は多くてTiC粒子が粗大となった。更に、比較例11, 1 \*

\*2, 16に関しては、粒径80nm以下のTiC, TiCNが分散析出したが、表面硬さがHv700以下となつたため、耐異物圧痕性に対して不十分となり長寿命とはならなかった。比較例14はTiの量が0.025%と少ないため80nm以下のTiCが分散析出しなかった。比較例18はTi量は少なく、Mn量が多い例であるが、TiCの平均粒径180nmとなり、80nm以下のTiCの分散が認められず、長寿命とはならなかった。

10 【0049】(比較試験2)水混入潤滑下での寿命比較試験である。被試験体として、表1中の実施例1, 4, 8, 11, 14, 17, 20と比較例1, 3, 7, 10, 13, 15の化学成分組成をもつ鋼を素材とする軸受外輪2及び内輪3を使用し、転動体4のみ通常の軸受鋼2種を素材とするものを用いた。

【0050】試験装置:比較試験1と同じものを使用した。

試験方法:潤滑油VG68中に水道水を1%混入させた水混入潤滑下にて行った。被試験軸受の型番及び試験荷重・回転数は実験1と同一である。耐久試験回数は、各試料につきn=10回づつ行った。試験終了の判定は、被試験体軸受1の初期振動値の5倍となった時点にて試験を中断し、フレーキングを確認した。試験打ち切り時間は500時間とした。

【0051】表3に比較試験2の寿命試験結果を示す。

【0052】

【表3】

	TiC, TiCN, (nm)	表面硬さ (Hv)	表面γR (%)	L10 (hr)	はくりの形態
実施例1	80	723	19	404	4個内輪はくり, 4個外輪はくり
実施例4	24	763	26	459	3個内輪はくり, 3個外輪はくり
実施例8	42	751	25	411	4個内輪はくり, 4個外輪はくり
実施例11	80	738	8	425	4個内輪はくり, 4個外輪はくり
実施例14	45	889	33	492	2個内輪はくり, 2個外輪はくり
実施例17	10	895	36	498	2個内輪はくり, 2個外輪はくり
実施例20	50	815	45	487	2個内輪はくり, 2個外輪はくり
比較例1	0	735	8	115	5個内輪はくり, 5個外輪はくり
比較例3	110	410	31	142	5個内輪はくり, 5個外輪はくり
比較例7	50	650	13	193	5個内輪はくり, 5個外輪はくり
比較例10	571	756	38	156	5個内輪はくり, 5個外輪はくり
比較例13	358	805	17	135	5個内輪はくり, 5個外輪はくり
比較例15	571	823	28	126	5個内輪はくり, 5個外輪はくり

【0053】この結果において、実施例1, 4, 8, 1 40 延させることができたためと考えられる。

1, 14, 17, 20に関して、 $L_{10}$ 寿命が400hr以上となり、比較例と比べて寿命が2~3倍長寿命であった。これは、平均粒径80nm以下のTiC, TiCNが分散析出し、かつ表面硬さがHv700以上あるため、水侵入潤滑下においてもTiC, TiCNが水素トラップサイト(水素を捉える領域)として機能してTiC, TiCN界面で水素を分散吸着し、その結果欠陥をつくりにくくした。また、TiC, TiCNの粒子のピンニング効果によりき裂先端の塑性変形域の増大を防ぎ、その結果腐食ピッチング(水素誘起割れ含む)を選

延させることができたためと考えられる。

【0054】これに対し、比較例1, 3, 10, 13, 15は平均粒径が80nm以下のTiC, TiCNが分散析出していないため、水素を分散吸収できない。また、比較例7のように硬さがHv650程度であると、最大せん断応力位置にて塑性変形を引き起こしやすくなり、長寿命となりにくい。

【0055】(比較試験3)二円筒摩耗試験機による寿命比較試験である。被試験体として、上記比較試験2と同じく、表1中の実施例1, 4, 8, 11, 14, 17, 20と比較例1, 3, 7, 10, 13, 15の化学



成分組成をもつ鋼を使用し、試験片を試作した。

【0056】試験装置：図4に示す二円筒式摩耗試験機を用いた。

試験方法：二円筒式摩耗試験機の下対向させた一対の円筒20にそれぞれ、被試験体であるリング（外径30mm、幅7mm）3を装着して、上から圧力Fを負荷し、ノズル21から潤滑油22を吹付けながら両リング3を互いに接触状態で逆方向に低速回転させて、両リング3の比摩耗量（mg/10°回転）の平均値を求めた。

\*10 【表4】

	TiC, TiCN, (nm)	表面硬さ (Hv)	表面γR (%)	比摩耗量 (mg/10°回転)
実施例1	80	723	19	0.08
実施例4	24	763	26	0.06
実施例8	42	751	25	0.07
実施例11	80	738	8	0.09
実施例14	45	899	33	0.02
実施例17	10	895	36	0.01
実施例20	50	815	45	0.03
比較例1	0	735	8	0.27
比較例3	110	410	31	0.41
比較例7	50	650	13	0.19
実施例10	571	756	36	0.35
比較例13	356	805	17	0.24
比較例15	571	823	28	0.17

【0059】この結果によると、被試験体の表面C%, N%が請求範囲を満足している実施例1, 4, 8, 11, 14, 17, 20において、平均粒径80nm以下のTiC, TiCNが分散析出し、表面硬さがHv700以上となったため、比較例とくらべて、比摩耗量が1/3以下と少なくなった。特に、実施例14, 17, 20に関しては、残留オーステナイト量が30~45VOL%、表面硬さはHv800以上であるため変形抵抗が増加し、比摩耗量が0.01~0.03mg/10°回転と、格段によくなった。

【0060】なお、上記寿命試験では、被試験体の転がり軸受として、軸受構成部材のうちの内輪に本発明を適用したものをを用いたが、本発明は転がり軸受の外輪および転動体にも同じく適用することができる。また、内輪、外輪、転動体のうちのいずれか一つ或いは二つの部材に選択的に適用したものとすることもできる。

【0061】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の転がり軸受によれば、軸受構成部材である内輪、外輪および転動体のうちの少なくとも一つの部材の表面ならびに内部に、平均粒径80nm以下の微細なTi炭化物、Ti炭窒化物を分散させて表面硬さをHv700以上としたため、耐摩耗特性が向上して異物が侵入しても軌道面に圧痕が生じにくく、また韌性が高まるのでき裂が発生した際もき裂の伝播を遅くすることができ、その結果従来品

\*【0057】面圧：100kgf/mm<sup>2</sup>

回転数：1000rpm

滑り率：20%

潤滑油：FBKオイルR080

油量：700cc/min

表4に比較試験3の二円筒摩耗試験結果を示す。また、図5に、この寿命試験における表面硬さと比摩耗量との関係を図示した。

【0058】

\*10 【表4】

と比較して長寿命な転がり軸受が得られるという効果を奏する。

【0062】更に、水侵入潤滑下においても、Ti炭化物が水素トラップサイトとして機能してその界面で水素を分散吸着して欠陥をつくりにくくし、またき裂先端の塑性変形域の水素濃度を低下させるため、腐食ピッチング（水素誘起割れ含む）を遅延させるという効果を奏する。

【0063】更に、平均粒径50nm以下のTi炭化物、Ti炭窒化物を微細に分散させ表面硬さをHv800~900とし、且つ残留オーステナイト量を30~45VOL%にすることにより、耐圧痕性ならびに耐摩耗性が極めて向上し、更なる寿命延長が可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】転がり軸受の構成部品に施す浸炭または浸炭窒化処理、焼入れ、焼戻し処理の例を示した熱サイクルの図である。

【図2】転がり軸受の寿命比較試験1に使用した片もち型寿命試験機の概要図である。

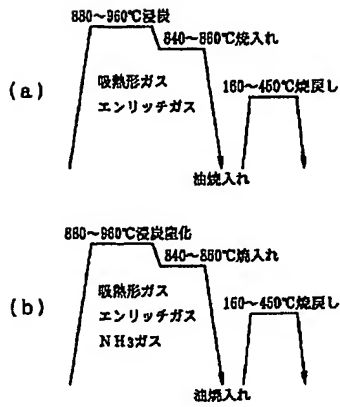
【図3】寿命比較試験1における、実施例と比較例の転がり寿命試験結果である。

【図4】転がり軸受の寿命比較試験3に使用した二円筒摩耗試験機の概要図である。

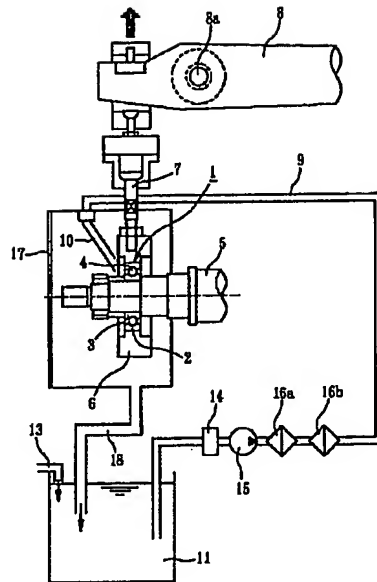
【図5】寿命比較試験3における、実施例と比較例の二円筒摩耗試験結果である。



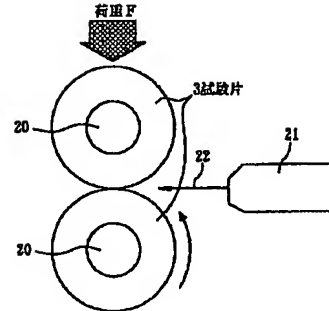
【図1】



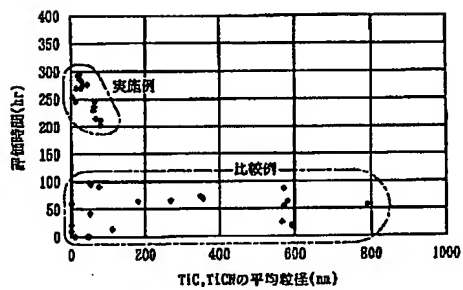
【図2】



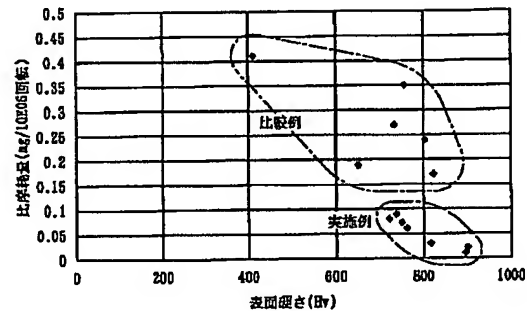
【図4】



【図3】



【図5】



フロントページの続き

(51)Int. Cl.<sup>8</sup>  
F16C 33/34  
33/62

識別記号

FI  
F16C 33/34  
33/62